干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000 – 6060.2019.03.01

昆仑山提孜那甫河流域 2012—2016 年近地表气温时空分布特征①

孙从建[1,2]， 李 伟[1]， 陈 伟[1]， 张子宇[1]， 陈若霞[1]

（1 山西师范大学地理科学学院，山西 临汾 041000；
2 中国科学院新疆生态与地理研究所荒漠与绿洲生态国家重点实验室，新疆 乌鲁木齐 830011）

摘 要：基于典型高寒内陆河——提孜那甫河流域的 6 个不同海拔自设气象站的 2012—2016 年气温数据，分析了该地区不同海拔区域近地表气温的时间变化特征和空间变异特征。结果表明：(1) 低、中、高山区均温均可被 sine 函数高度拟合(R^2 >87%)，且随海拔增高气温波动减弱，时间变化延迟，气温变幅差异减小。(2) 日均温与月均温最低值出现月份不同步，且这一情况在海拔相对较高区更易出现。(3) 年内尺度不同区域气温空间差异：D1 区（麻扎—库地）在秋、冬季最大；D3 区（库地达坂—西合休）在春、夏、秋最小；D4 区（西合休/库地达坂—莫木克）在夏季最大，冬季最小；D5 区（莫木克—江卡）在春季最大，相关分析结果表明：气温空间分异受海拔影响大。研究结果将对提高高寒山区气候特征认知及改善冰雪水循环模拟具有重要促进意义。

关 键 词： 高寒内陆河；提孜那甫河流域；近地表气温；山区气候特征
文章编号： 1000 – 6060(2019)03 – 0459 – 10(0459 ~ 0468)

近地表气温是水文模拟的重要参数[1]，其变化直接影响冰雪消融量和高山径流组分蒸散发量[2]，是区域水循环研究的重要环节。定量分析近地表气温的空间分布格局，尤其是近地表气温随着海拔高度变化的差异，对于我们理解水文过程及其在不同环境背景下的变异具有重要意义[3]。水文过程对温度变化极其敏感，尤其是在高寒山区，空气温度不仅直接影响积雪、冰川和多年冻土带的消融，而且控制地表与大气间的水分和热量交换[4-5]。

半个多世纪以来，随着全球气候变暖，中亚地区气温震荡上升[6]，极端气候水文事件的发生强度和频率增强，水文波动和水资源不确定性加剧[7-8]，近地表气温的研究也越来越吸引学者们的关注[9-12]。我国西北高寒干旱区位于中纬度欧亚大陆腹地，是对气候变暖最敏感地区之一[13]。关于高寒山区的气温分布特征，一些研究者基于气象数据对珠穆朗玛峰北坡[14]、横断山区[15]及羌塘高原[16-17]等地的气温分布特征进行了探讨并得出了一些有价值的数据。由于高寒山区气象站点较少，传统的气象数据难以系统的阐述高寒山地的气温分布特征，一些研究者开始尝试利用自设气象站研究高寒山地气温变化趋势，如 SHEN 等[16]基于天山南北的气象站及内部开都河流域的实测气温数据分析比较了天山南北坡、天山内部的气温直减率的变化；姚永慧等[18]结合 MODIS 地表温度数据、气象站数据和 ASTERG-DEM 数据估算了青藏高原气温，据此分析了各月气温和部分等温线的空间分异特征，谢健等[19]基于念青唐古拉山南坡 4 300 ~ 5 500 m 高程的 9 个自动气象站 2006 年 8 月 1 日 ~2007 年 7 月 31 日的观测数据，分析了气温随海拔高度和时间的变异特征，且得出在 10 月 ~4 月的 4 300 ~4 950 m 处存在逆温的结论。以往的研究增进了人们对于气候变化下高寒山地气温时空分布的认识，但是涉及到昆仑山近地表气温的研究相对较少。

昆仑山地处我国青藏高原区与西北内陆干旱区交汇处，地形地貌复杂，环境恶劣、人迹罕至，气象资料匮乏。作为亚洲的重要组成部分，该区域多发育现代冰川，是我国西部众多河流的水源地，有“亚洲

① **收稿日期：** 2018 – 11 – 03； **修订日期：** 2019 – 03 – 01
基金项目： 新疆维吾尔自治区自然科学基金面上项目(2016D01A075)
作者简介： 孙从建(1986 –)，男，河北沧州人，副教授，博士，从事气候变化与水循环研究. E-mail：suncongjian@ sina.com

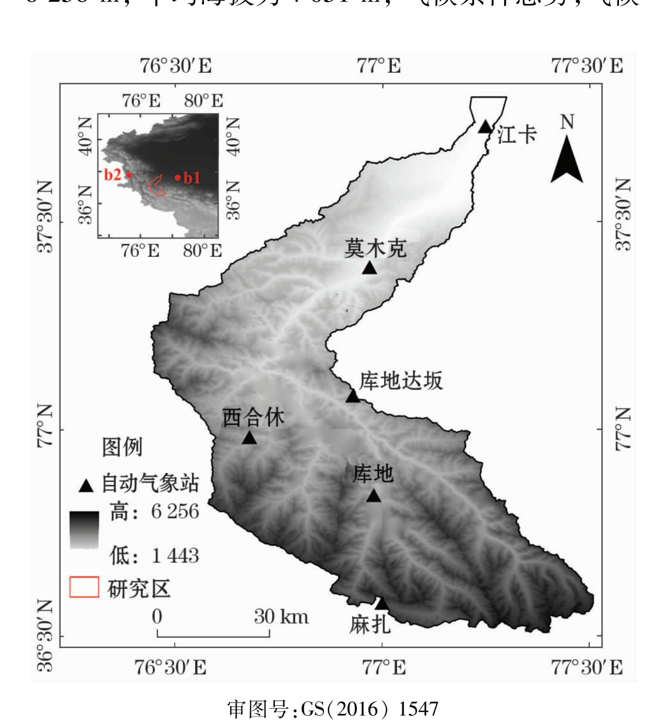
水塔"之称,该地区自然环境对气候变暖响应显著且受人类活动干扰较少,是研究全球气候变暖的理想区域。近年来,随着全球气候变暖加剧,该区域冰川消融速度加快,高山冰雪融水增加[20-22],而影响冰雪消融的区域近地表气温已成为研究者们的关注焦点。

针对研究区地面气象站稀缺的情况,选取昆仑山典型高寒流域的6个不同海拔高度区域布设自动气象站,获取5 a近地表气温观测数据。本研究旨在揭示昆仑山典型高寒流域不同海拔高度区域近地表气温的时间变化特征;年际、季度、月三种时间尺度区域近地表气温空间变异特征。研究结果对于区域冰雪水资源模拟具有重要意义。

1 研究区概况和数据处理

1.1 研究区概况

选取位于我国西昆仑山的提孜那甫河流域作为研究区。流域位于喀喇昆仑山与昆仑山两大地貌单元交界处,地理位置介于76°34′43″~77°43′13″E,36°30′35″~37°44′43″N,总面积为5.6×10^3 km^2。提孜那甫河全长335 km,自东南向东北流经叶城、泽普、莎车等地区,最终于麦盖提恰隆汇入叶尔羌河(图1)。流域地形地貌复杂,海拔在1 443~6 256 m,平均海拔为4 051 m,气候条件恶劣,气候类型为严寒的大陆性高山气候,新藏公路从流域内穿越。区域内气象观测站点稀少,气象资料极为有限,研究工作开展甚少[23-27]。



审图号:GS(2016)1547

图1 提孜那甫河流域位置及站点位置分布图

Fig. 1 Location of the study area and stations

1.2 数据

1.2.1 基础数据来源 本文近地表气温数据来自于布设于该流域的6个自动观测站2012—2016年间的观测数据,所有站点均布设于空旷开阔的山坡顶部距地面2 m处,避免山谷阻挡对温度的影响,从而减少误差。自设站包括江卡、莫木克、库地、西合休、库地达坂、麻扎(表1,图1)。本文参照颜伟等人[28]的研究,结合观测站实际分布情况,将六站点依照不同海拔分为"低、中、高"三类(表1),且分别做回归分析,从而进一步比较揭示不同海拔高度近地表气温时间变化特征。

1.2.2 研究方法 以相邻地区国家标准气象站点实测数据作为检验标准,采用相关系数R(Correlation Coeffient)、相对误差(*BIAS*)等指标对自设气象站数据进行精读检验[29]。指标计算公式如下:

$$R=\frac{\sum_{i=0}^{n}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=0}^{n}(x_i-\bar{x})^2\sum_{=0}^{n}(y_i-\bar{y})^2}} \qquad (1)$$

$$BLAS=\frac{\sum_{i=0}^{n}(x_i-y_i)}{\sum_{i=0}^{n}y_i}\times100\% \qquad (2)$$

式中:n为数据记录的总个数,x_i为自动气象站实测气温,y_i为对应时间内国家标准气象站观测数据。R反映自设气象站数据与国家标准气象站数据之间的一致性,取值越接近1表明数据趋势越一致;*BIAS*作为数据系统误差,表示自设站数据与标准气象站数据的数值偏离称度,数值越接近0,数据越精确。

表1 提孜那甫河流域各站点资料信息

Tab. 1 Information of stations over the Tizinafu basin

	编号	站点	经度/°E	纬度/°N	高程/m	观测期
低山区	a1	江卡	77.25	37.73	1 503	2012.08-2016.11
	a2	莫木克	76.97	37.39	1 865	2012.11-2016.10
中山区	a3	库地	76.98	36.84	2 900	2012.11-2016.10
	a4	西合休	76.68	36.98	3 000	2012.06-2016.10
	a5	库地达坂	76.93	37.08	3 570	2012.07-2016.11
高山区	a6	麻扎	77.00	36.58	5 100	2012.11-2016.11
国家标准	b1	皮山	78.28	37.62	1 375	1959-2013
气象站	b2	塔什库尔干	75.23	37.77	3 090	1957-2013

本文地理位置接近研究区,且地形与气候条件与研究区相似的两国家标准站皮山站及塔什库尔干站气温数据作为检验标准,并以皮山站对应海拔 1 600 m左右设站,塔什库尔干站对应海拔 3 000 m 左右及 3 000 m 以上自设站。

相关性检验结果显示,各自设站数据与国家标准站相关系数均大于 0.955,且达到 0.01 水平显著性检验(表 2)。各自设站相对误差 *BIAS* 计算结果(表 3)显示,除麻扎站外(海拔较高所致),其余五站点相对误差在[-0.55,0.55]之间,表明大部自设站与标准站数据数值差异很小。江卡站和西合休站海拔与标准站海拔尤为接近,同时相对误差也最小,这表明自设站数据与标准站数据在数值上具有非常好的一致性。综上,自设站数据具有较好科学合理性。

表 2　自动气象站多年平均气温与国家标准气象站对应气温相关性分析统计量

Tab. 2　Correlation analysis statistics of mean annual temperature between self-established stations and the national meteorological observing stations

	江卡	莫木克	库地	西合休	库地达坂	麻扎
国家标准气象站	0.993**	0.997**	0.995**	0.996**	0.981**	0.993**

** 在 0.01 水平(单侧)上显著相关

表 3　自动气象站多年平均气温与国家标准气象站对应气温相对误差 / %

Tab. 3　Relative error on mean annual temperature between self-established stations and the national meteorological observing stations　/ %

	江卡	莫木克	库地	西合休	库地达坂	麻扎
国家标准气象站	-3.67	-20.92	54.33	8.62	-51.30	-284.61

2　结果与分析

2.1　近地表气温的时间变化特征

根据观测期内气温的时间变化特征,本文以气温作为因变量 y,时间作为自变量 x,对气温与时间的关系进行 sin 函数曲线拟合,结果如下:

2.1.1　日、月、季尺度温度变化特征　由图 2 可知不同海拔区域日均温时间拟合情况。日、月、季均温的拟合结果显示,海拔越高,气温的波动越小,截距(位移距离)越大。三种类型区均温的拟合显示(表4),

表 4　低山区、中山区与高山区近地表日、月、季均温拟合结果

Tab. 4　Fitting results of daily, monthly and seasonal mean temperature near surface at different regions

温度类型	区域	振幅 / ℃	最小正周期	位移距离	波动范围 / ℃	拟合优度 R^2
日均温	低山区	28.10	365.90	-150.12	[-3.33 ~ 24.77]	0.92
	中山区	20.62	364.94	-157.55	[-6.56 ~ 14.06]	0.87
	高山区	19.70	366.38	-158.31	[-16.43 ~ 3.27]	0.96
月均温	低山区	27.74	12.06	-5.72	[-3.16 ~ 24.58]	0.96
	中山区	20.28	12.02	-5.96	[-6.56 ~ 14.06]	0.97
	高山区	19.52	12.08	-5.97	[-16.37 ~ 3.27]	0.98
季均温	低山区	25.74	4.02	-1.91	[-2.15 ~ 23.59]	0.97
	中山区	18.56	4.02	-1.99	[-5.53 ~ 13.03]	0.99
	高山区	18.08	4.00	-2.00	[-15.63 ~ 2.45]	0.99

低、中、高山区气温波动周期基本相等,但存在温度延迟现象,如日尺度上,中山区与高山区日均温变化比低山区延迟 8 d 左右,而中山区和高山区的月均温较之低山区延迟 0.25 个月(7.5 d),这一延迟在季均温时为 0.08 个季度(7.2 d)。值得注意的是,高山区与中山区海拔差值为1 943.33 m,中山区与低山区海拔差值为 1 472.67 m,但是中山区日均温变幅相比于高山区只略微减小 0.92 ℃,而低山区日均温变幅相比于中山区减小达 7.48 ℃(月均温、季均温情况类似),表明在中山区可能存在逆温现象,这一发现与之前天山地区的研究较为相似,有大量研究表明在中亚高山区(如天山)广泛存在逆温层[30]。

对比各站点,发现随着海拔增高,气温变幅减小,标准差减小,气温变化差异减小。在全部站点中,日均温、月均温、季均温最小值均出现在麻扎站(-22.35 ℃、-17.95 ℃、-16.22 ℃),日均温的最大值出现在莫木克站(27.97 ℃),而不是海拔最低的江卡站;月均温和季均温最高值出现在江卡站(24.83 ℃、23.10 ℃)。各站点间日均温差值最大值为 28.15 ℃,最小值 5.16 ℃;各站点间月均温差值取值区间为[11.80 ℃,23.65 ℃],站点间的季均温差异在[13.26 ℃,21.73 ℃]。

2.1.2　日均温和月均温时间不同步现象　为比较不同类型温度的不同步现象,筛选出每个观测年内不同类型区日均温最低值、月均温最低值出现的时间,对比发现,日均温最高值与月均温最高值出现月份基本吻合,而日均温与月均温最低值时间呈现不同步现象(表 5)。

图 2　流域低山区、中山区和高山区近地表日、月、季均温变化曲线

Fig. 2　Variation characteristics of daily, monthly and seasonally mean air temperature in different regions

表 5　低山区、中山区和高山区在 4 个时段内日(月)均温达到最高值和最低值的具体时间

Tab. 5　Observed time of min/max daily(monthly) average air temperature at different regions

			平均气温最高值				平均气温最低值			
			日均温 / ℃	日期	月均温 / ℃	月份	日均温 / ℃	日期	月均温 / ℃	月份
P_1	2012.11 - 2013.10	低山区	27.65	07 - 30	22.53	7	- 12.78	01 - 08	- 6.50	1
		中山区	19.67	07 - 31	13.50	8	- 15.73	12 - 30	- 6.55	1
		高山区	7.92	07 - 30	3.06	7	- 22.35	01 - 05	- 17.95	1
P_2	2013.11 - 2014.10	低山区	26.95	07 - 25	23.91	7	- 9.59	01 - 09	- 4.53	1
		中山区	18.32	07 - 29	13.75	7	- 15.47	12 - 29	- 7.24	12
		高山区	7.36	07 - 29	3.14	7	- 22.03	02 - 15	- 16.25	1
P_3	2014.11 - 2015.10	低山区	26.31	07 - 24	24.43	7	- 8.17	01 - 03	- 4.86	12
		中山区	18.68	07 - 25	15.29	7	- 12.33	02 - 05	- 6.91	12
		高山区	7.24	07 - 30	3.10	7	- 21.88	01 - 06	- 17.10	1
P_4	2015.11 - 2016.10	低山区	27.21	07 - 29	23.70	7	- 8.17	12 - 20	- 4.77	1
		中山区	17.60	07 - 28	14.14	7	- 13.20	02 - 14	- 6.50	2
		高山区	7.24	07 - 30	3.10	7	- 21.88	01 - 06	- 17.10	1

在 P_2 期,高山区日均温最低值出现时间晚于月均温最低值出现时间 1 个月;在 P_3 期,低山区日均温最低值出现时间也晚于月均温最低值出现时间 1 个月,而中山区晚 2 个月;在 P_4 期,低山区日均温最低值却早于月均温最低值 1 个月出现。为了进一步研究,本文列出了各站点多年日均温、月均温的统计情况(表 6):

对比发现,在海拔 1 503 ~1 865 m 处,日均温和月均温最低值出现月份一致,而在海拔 2 900 m ~3 570 m 处,日均温最低值早于月均温最低值出现,这一"提前"现象在海拔 3 750 m 处达 2 个月。总体来看,海拔较高处日均温最低值和月均温最低值出现月份更容易出现不吻合情况。

2.2 近地表气温空间分布格局

2.2.1 不同年份空间分布格局 依据自设站在流域中的地理位置,从南到北分区域在不同时间尺度下计算近地表气温变化梯度,根据图中位置将整个流域分为 D1(麻扎—库地)、D2(库地—西河修/库地达坂)、D3(库地达坂—西河修)、D4(西合休/库地达坂—莫木克)、D5(莫木克—江卡)5 个次级区域。流域内不同海区间近地表气温变化如下表(表 7)所示:

流域气温空间分布格局变化较为稳定,整体上气温空间分布呈现从低海拔到高海拔气温逐步降低的趋势,但三类气温(年均气温:年均 T_{ave}、年均最低气温:年均 T_{min}、年均最高气温:年均 T_{max})在流域中部皆出现相对低值区域。在不同年份,流域内三类气温梯度情况如下:四年中年均 T_{max} 在 D1 区域气温空间差异最小,在 D5 区域空间差异最大。而年均 T_{min},其空间差异在 D3 区域一直较小,气温空间异质性较弱,且在 2014 年时 D3 区出现逆温现象;在 2013—2014 年年均 T_{min} 的空间差异在 D1 区最显著,而在 2015—2016 年 T_{min} 空间差异最显著的地方转移到了 D5 区。对于年均 T_{ave} 来讲,其空间差异最小区域,在 2013—2015 年间一直出现在 D3 区域(表 7,图 3)。

研究时段内年均 T_{ave}、年均 T_{min} 和年均 T_{max} 的气温直减率分别是:2013 年:5.10 ℃·(1 000 m)$^{-1}$,4.60 ℃·(1 000 m)$^{-1}$,5.60 ℃·(1 000 m)$^{-1}$;2014 年:5.00 ℃·(1 000 m)$^{-1}$,4.70 ℃·(1 000 m)$^{-1}$,4.90 ℃·(1 000 m)$^{-1}$;2015 年:5.10 ℃·(1 000 m)$^{-1}$,4.70 ℃·(1 000 m)$^{-1}$,5.30 ℃·(1 000 m)$^{-1}$;2016 年:5.10 ℃·(1 000 m)$^{-1}$,4.80 ℃·(1 000 m)$^{-1}$,5.20 ℃·(1 000 m)$^{-1}$。观测时段内,年均 T_{max} 直减率最大,年均 T_{min} 直减率最小。

通过三类气温与海拔、纬度间的相关分析表明(表 8),海拔高度与三类气温都存在很强的负相关关系,海拔高度对该流域气温空间差异影响较大。

表 6 各站点日(月)均温达到最高值和最低值的具体时间

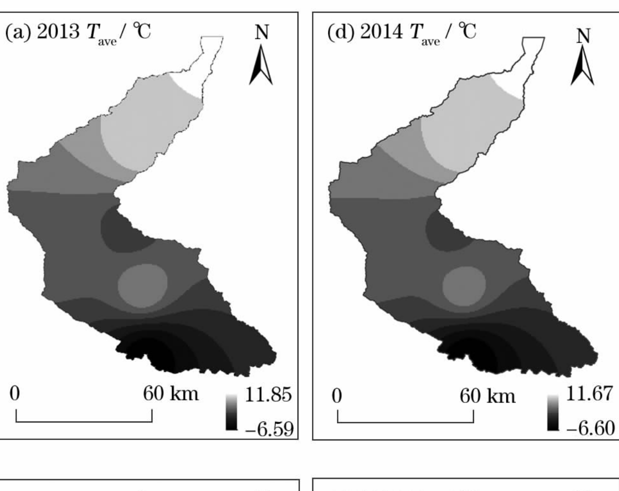
Tab. 6 Month of min/max daily (monthly) mean air temperature existed at 6 stations

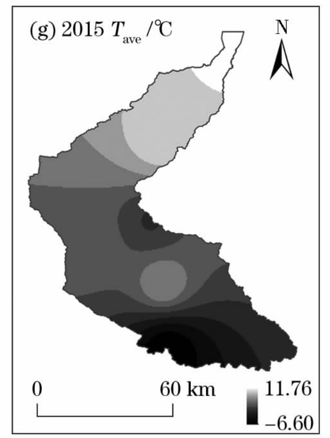
站点	高程 / m	平均气温最高值				平均气温最低值			
		日均温 / ℃	日期	月均温 / ℃	月份	日均温 / ℃	日期	月均温 / ℃	月份
江卡	1 503	27.01	07-29	24.28	7	-10.08	01-08	-4.68	1
莫木克	1 865	26.22	07-29	23.00	7	-8.78	01-09	-5.63	1
库地	2 900	19.47	07-30	16.26	7	-9.89	12-29	-4.95	1
西河修	3 000	16.66	07-30	13.89	7	-13.385	12-31	-6.03	1
库地达坂	3 570	17.48	07-29	12.35	7	-17.651	12-28	-8.98	2
麻扎	5 100	7.24	07-30	3.10	7	-21.882	01-06	-17.10	1

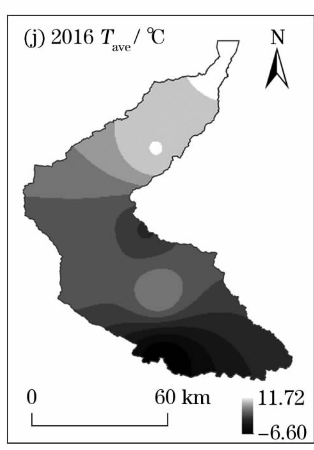
表 7 2013—2016 年不同海拔区间近地表气温变化梯度

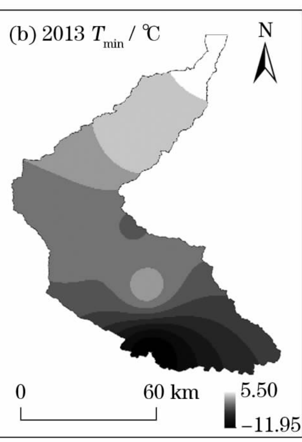
Tab. 7 Average air temperature variation gradient in space in 5 subregions form 2013 to 2016

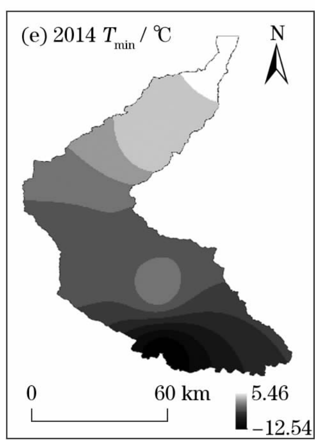
	2013 年			2014 年			2015 年			2016 年		
	T_{ave}	T_{min}	T_{max}	T_{ave}	T_{min}	T_{max}	T_{ave}	T_{min}	T_{max}	T_{ave}	T_{min}	T_{max}
D1	0.56	0.56	0.50	0.52	0.55	0.38	0.57	0.59	0.49	0.58	0.61	0.48
D2	0.51	0.23	0.90	0.40	0.14	0.73	0.56	0.30	0.93	0.60	0.34	0.97
D3	0.35	0.08	0.80	0.28	-0.01	0.71	0.45	0.16	0.91	0.48	0.21	0.95
D4	0.48	0.31	0.60	0.45	0.30	0.57	0.48	0.32	0.62	0.50	0.35	0.62
D5	0.58	0.63	1.30	0.66	0.70	1.28	0.50	0.56	1.12	0.391	0.42	1.02

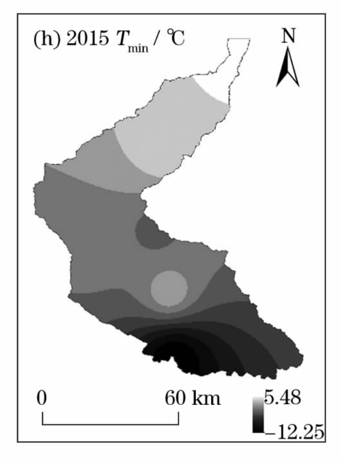


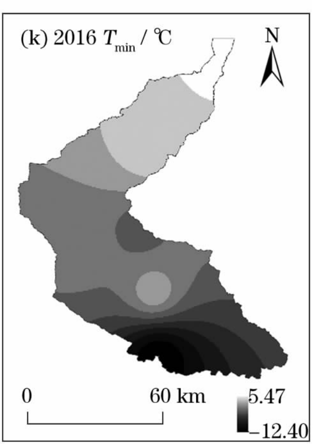


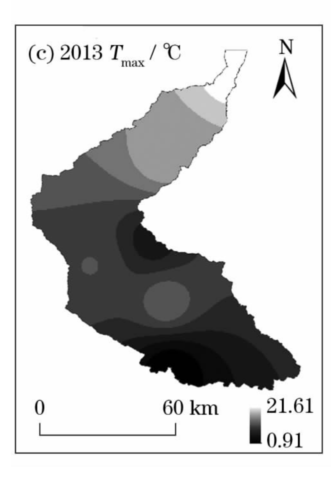


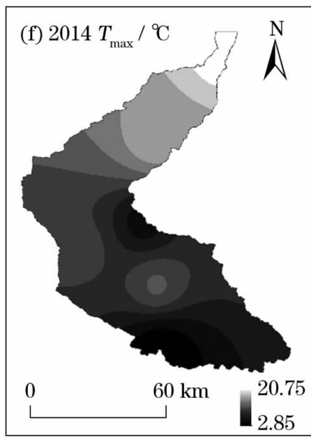


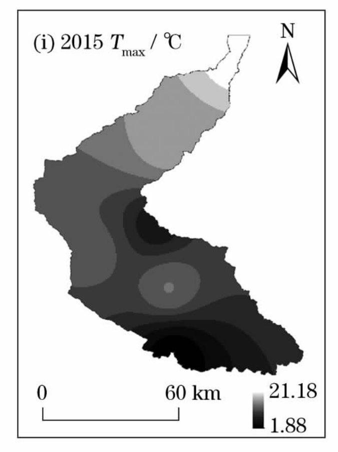












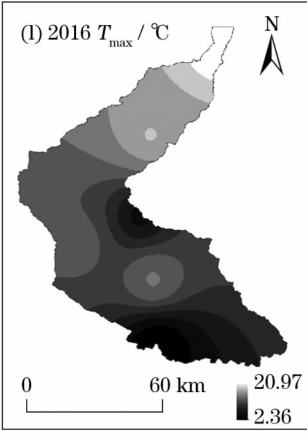


图 3　不同年份平均气温、平均最低气温、平均最高气温空间分布格局

Fig. 3　Spatial distribution of annual-mean air temperature from 2013 to 2016

表 8　2013—2016 年均气温与海拔和纬度的相关性分析统计表

Tab. 8　Correlation analysis statistics between annual mean temperature and elevation or latitude from 2013—2016

		平均气温	平均最低气温	平均最高气温		平均气温	平均最低气温	平均最高气温
2013	海拔	-0.879**	-0.888**	-0.871**	纬度	0.997**	0.981**	0.982**
2014	海拔	-0.901**	-0.884**	-0.905**	纬度	0.997**	0.978**	0.965**
2015	海拔	-0.868**	-0.853**	-0.877**	纬度	0.997**	0.979**	0.979**
2016	海拔	-0.860**	-0.843**	-0.867**	纬度	0.996**	0.979**	0.976**

**. 在 0.01 水平(单侧)上显著相关

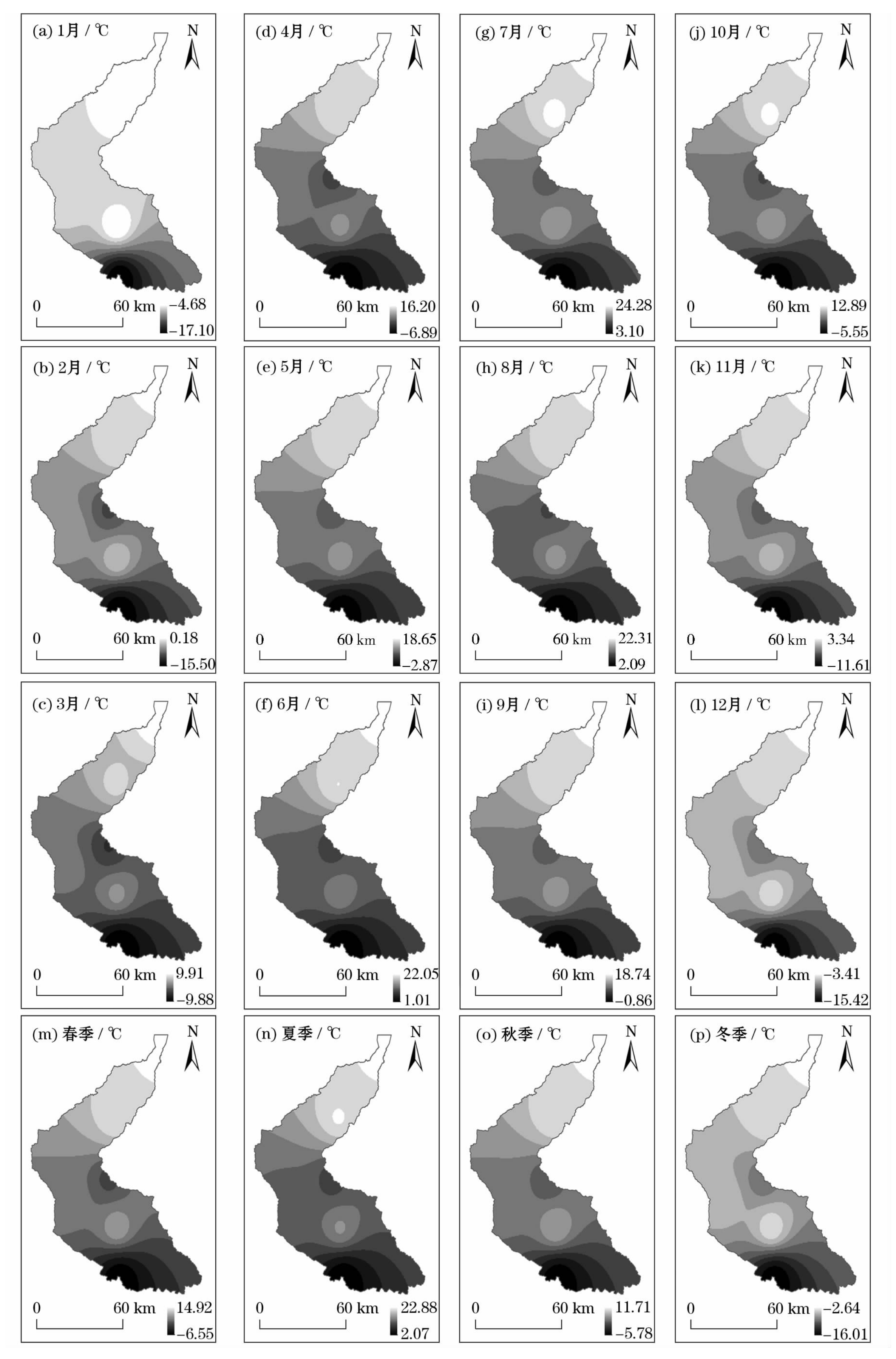


图 4　不同月份和不同季节近地表均温空间分布格局

Fig. 4　Spatial distribution of monthly-mean air temperature and seasonally-mean air temperature

纬度与气温存在较强的正相关关系，考虑到流域自设站地理位置随着纬度减小，海拔快速增高，可能是海拔高度上干扰了纬度变化对气温的影响。

2.2.2 年内气温空间分布格局 为了进一步比较年内气温空间变化特征，本研究对具有代表性的 4 a 平均气温的各月、季空间变化进行了分析（图 4），其中最高气温出现于夏季 7 月份（夏季：22.88 ℃，7 月：24.28 ℃），最低气温出现于冬季的 1 月份（冬季：-16.01 ℃，1 月：-17.10 ℃）。流域气温变化范围最大的是夏季（[2.07 ℃，22.88 ℃]），其中 7 月份最显著（[3.10 ℃，24.28 ℃]）；变化范围最小的为冬季（[-16.00 ℃，-2.64 ℃]），其中 12 月最小（[-15.42 ℃，-3.41 ℃]）。从月尺度分析，1 月份气温空间差异在 D1 区最大，D4 区最小。在 2 月，D2 区气温空间差异最大，D4 区最小；在 3 月，D5 区气温空间差异最大，D1 区最小；在 4 月，D5 区气温空间差异最大，D3 区最小。5 ~ 9 月份，D3 区气温空间差异一直保持在较小状态，而气温空间差异最显著区域出现在 D4 区。在 10 月，D1 区气温空间差异最大，D5 区最小。在 11、12 月份，气温空间差异在 D2 区最大，在 D4 区最小。比较各月的气温直减率发现 12 月和 1 月的气温直减率最小 [3.20 ℃·(1 000 m)$^{-1}$]；4 月气温直减率最大 [6.30 ℃·(1 000 m)$^{-1}$]，1 月到 3 月气温直减率逐渐增大 [3.20 ℃·(1 000 m)$^{-1}$，4.30 ℃·(1 000 m)$^{-1}$，5.40 ℃·(1 000 m)$^{-1}$]，4 月至 7 月的气温直减率稳定保持在高位 [6.30 ℃·(1 000 m)$^{-1}$，6.00 ℃·(1 000 m)$^{-1}$，5.90 ℃·(1 000 m)$^{-1}$，6.00 ℃·(1 000 m)$^{-1}$]；8 月到 12 月气温直减率逐渐减小 [5.60 ℃·(1 000 m)$^{-1}$，5.40 ℃·(1 000 m)$^{-1}$，5.20 ℃·(1 000 m)$^{-1}$，4.10 ℃·(1 000 m)$^{-1}$]。

从季尺度分析，在春、夏、秋三个季度气温空间差异最小区域皆为 D3 区；在春季 D5 区气温空间差异最显著；在夏季，D4 区气温空间差异最显著；而在秋季，D1 区气温空间差异最显著；在冬季，D1 区气温空间差异最大，D4 区气温空间差异最小。春夏秋冬四个季度的气温直减率分别为 5.90 ℃·(1 000 m)$^{-1}$，5.90 ℃·(1 000 m)$^{-1}$，4.80 ℃·(1 000 m)$^{-1}$，3.50 ℃·(1 000 m)$^{-1}$。春季和夏季的气温直减率相等，冬季的气温直减率最小。

3 结 论

（1）流域低、中、高三类型区日、月、季均温均可被 sine 函数高度拟合（$R^2 > 87\%$）。（对比不同海拔区拟合情况），随着海拔增高，气温波动变化减弱，气温时间变化延迟，且高山区气温变幅与中山区的差异相比于中山区气温变幅与低山区的差异大幅降低，表明中山区与高山区之间存在逆温层。

（2）日均温最低值与月均温最低值时间出现不同步现象，且海拔较高区日均温最低值和月均温最低值月份不吻合情况更容易出现。

（3）流域均温空间分异情况为，年均 T_{max}：4 a 中 D1 区空间差异最小，D5 区最大；年均 T_{min}：D3 区最小，D1 区在 2013—2014 年最大，D5 区在 2015—2016 年最大；年均 T_{ave}：D3 区在 2013—2015 年最小。在年内月尺度上，D1 区在 1、10 月份最大，在 3 月份最小；D2 区在 2、11 ~ 12 月份最大；D3 区在 4 ~ 9 月份保持最小；D4 区在 1 ~ 2、12 月份气温差异最小，在 5 ~ 9 月份最大；D5 区在 3 ~ 4 月份最大，在 10 月份最小。而在季尺度，D1 区在秋、冬季最大；D3 区在春、夏、秋空间差异最小；D4 区在夏季最大，冬季最小；D5 区在春季最大。相关分析结果表明：海拔对气温空间差异影响较大，而纬度对气温的影响比较复杂。

参考文献（References）

[1] 刘蛟，刘铁，黄粤，等. 基于遥感数据的叶尔羌河流域水文过程模拟与分析[J]. 地理科学进展，2017，36(6)：753 - 761. [LIU Jiao，LIU Tie，HUANG Yue，et al. Simulation and analysis of the hydrological processes in the Yarkant River Basin based on remote sensing data [J]. Progress in Geography，2017，36(6)：753 - 761.]

[2] RICHARD C，GRATTON D J. The importance of the air temperature variable for the snowmelt runoff modeling using SRM[J]. Hydrological Processes，2001，15(18)：3357 - 3370.

[3] LI Xiuping，WANG Lei，CHEN Deliang，et al. Near-surface air temperature lapse rates in the mainland China during 1962—2011 [J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres，2013，118(14)：7505 - 7515.

[4] BLOSCHL G. The influence of uncertainty in air temperature and albedo on snowmelt[J]. Nordic Hydrology，1991，22(2)：95 - 108.

[5] SCALLY F A D. Deriving lapse rates of slope air temperature for meltwater runoff modeling in subtropical mountains: An example from the Punjab Himalaya，Pakistan[J]. Mountain Research & Development，1997，17(4)：353 - 362.

[6] SUN Congjian, SHEN Yanjun, CHEN Yaning, et al. Quantitative evaluation of the rainfall influence on streamflow in an inland mountainous river basin within Central Asia[J]. Hydrological Sciences Journal, 2017, 62(1): 17 - 30.

[7] 陈亚宁,李稚,范煜婷,等. 西北干旱区气候变化对水文水资源影响研究进展[J]. 地理学报, 2014, 69(9): 1295 - 1304. [CHEN Yaning, LI Zhi, FAN Yuting, et al. Research progress on the impact of climate change on water resources in the arid region of Northwest China[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(9): 1295 - 1304.]

[8] JI Fei, WU Zhaohua, HUANG Jianping, et al. Evolution of land surface air temperature trend[J]. Nature Climate Change, 2014, 4(6): 462 - 466.

[9] 李双双,芦佳玉,延军平,等. 1970—2015 年秦岭南北气温时空变化及其气候分界意义[J]. 地理学报, 2018, 73(1): 13 - 24. [LI Shuangshuang, LU Jiayu, YAN Junping, et al. Spatiotemporal variability of temperature in northern and southern Qinling Mountains and its influence on climatic boundary[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(1): 13 - 24.]

[10] 刘世博,臧淑英,张丽娟,等. 东北冻土区 MODIS 地表温度估算[J]. 地理研究, 2017, 36(11): 2251 - 2260. [LIU Shibo, ZANG Shuying, ZHANG Lijuan, et al. Estimation of land surface temperature from MODIS in Northeast China[J]. Geographical Research, 2017, 36(11): 2251 - 2260.]

[11] DU Mingxia, ZHANG Mingjun, WANG Shengjie, et al. Near-surface air temperature lapse rates in Xinjiang, northwestern China[J]. Theoretical & Applied Climatology, 2017: 1 - 14.

[12] 江净超,刘军志,秦承志,等. 中国近地表气温直减率及其季节和类型差异[J]. 地理科学进展, 2016, 35(12): 1538 - 1548. [JIANG Jingchao, LIU Junzhi, QIN Chengzhi, et al. Near-surface air temperature lapse rates and seasonal and type differences in China[J]. Progress in Geography, 2016, 35(12): 1538 - 1548.]

[13] 陈亚宁,杨青,罗毅,等. 西北干旱区水资源问题研究思考[J]. 干旱区地理, 2012, 35(1): 1 - 9. [CHEN Yaning, YANG Qing, LUO Yi, et al. Ponder on the issues of water resources in the arid region of northwest China[J]. Arid Land Geography, 2012, 35(1): 1 - 9.]

[14] 杨兴国,秦大河,张廷军,等. 珠穆朗玛峰北坡地区气温和湿度变化特征[J]. 气象学报, 2012, 70(4): 855 - 866. [YANG Xingguo, QIN Dahe, ZHANG Tingjun, et al. Characteristics of the air temperature and humidity on the north slope of Mt Qomolangma[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 70(4): 855 - 866.]

[15] 李宗省,何元庆,辛惠娟,等. 我国横断山区 1960—2008 年气温和降水时空变化特征[J]. 地理学报, 2010, 65(5): 563 - 579. [LI Zongxing, HE Yuanqing, XIN Huijuan, et al. Spatio-temporal variations of temperature and precipitation in Mts. Hengduan Region during 1960—2008[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(5): 563 - 579.]

[16] SHEN Yanjun, SHEN Yanjun, GOETZ J, et al. Spatial-temporal variation of near-surface temperature lapse rates over the Tianshan Mountains, Central Asia[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2016, 121(23): 14006 - 14017.

[17] 祁威,张镱锂,刘林山,等. 羌塘高原核心区 2013—2014 年土壤温度变化特征[J]. 地理研究, 2017, 36(11): 2075 - 2087. [QI Wei, ZHANG Yili, LIU Linshan, et al. Characteristics of soil temperature variation in core region of northern Tibetan Plateau in China during 2013—2014[J]. Geographical Research, 2017, 36(11): 2075 - 2087.]

[18] 姚永慧,张百平. 青藏高原气温空间分布规律及其生态意义[J]. 地理研究, 2015, 34(11): 2084 - 2094. [YAO Yonghui, ZHANG Baiping. The spatial pattern of monthly air temperature of the Tibetan Plateau and its implications for the geo-ecology pattern of the Plateau[J]. Geographical Research, 2015, 34(11): 2084 - 2094.]

[19] 谢健,刘景时,杜明远,等. 念青唐古拉山南坡气温分布及其垂直梯度[J]. 地理科学, 2010, 30(1): 113 - 118. [XIE Jian, LIU Jingshi, DU Mingyuan, et al. Altitudinal distribution of air temperature over a southern slope of Nyainqentanglha Mountain, Tibetan Plateau[J]. Scientia Geographica Sinica, 2010, 30(1): 113 - 118.]

[20] 李成秀,杨太保,田洪阵. 近 40 年来西昆仑山冰川及冰湖变化与气候因素[J]. 山地学报, 2015, 33(2): 157 - 165. [LI Chengxiu, YANG Taibao, TIAN Hongzhen. Variation of western Kunlun Mountain glaciers monitored by remote sensing during 1976—2010[J]. Mountain Research, 2015, 33(2): 157 - 165.]

[21] 郑茜,孙建宝,张永. 基于 Landsat - 8 时间序列影像分析西昆仑山地区冰川滑移特征[J]. 大地测量与地球动力学, 2016, 36(7): 604 - 608. [ZHENG Qian, SUN Jianbao, ZHANG Yong. Fast and uniformly slipping western-Kunlun Glaciers from time-series deformation analysis using periodically captured Landsat - 8 imagery[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics. 2016, 36(7): 604 - 608.]

[22] 孙从建,李伟,李新功,等. 青藏高原西北部近地表气温直减率时空分布特征[J]. 自然资源学报, 2018, 33(7): 1270 - 1282. [SUN Congjian, LI Wei, LI Xingong, et al. Spatial-temporal variation of near-surface temperature lapse rates over the northern western Tibetan Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(7): 1270 - 1282.]

[23] 庄宇娇,贾翔,陈孟禹,等. 提孜那甫河流域冰—草生态交错带 MODZS 动态特征[J]. 山地学报, 2016, 34(6): 780 - 787. [ZHUANG Yujiao, JIA Xiang, CHEN Mengyu, et al. Dynamic features of the ice-grass ecotone in Tizinafu River Basin based on MODIS data[J]. Mountain Research, 2016, 34(6): 780 - 787.]

[24] 陈蜀江,贾翔,黄铁成,等. 新疆提孜那甫河流域山区冰—草生态交错带的空间格局及其动态变化研究[J]. 冰川冻土, 2015, 37(6): 1650 - 1659. [CHEN Shujiang, JIA Xiang, HUANG Tiecheng, et al. The study of spatial pattern and dynamic changes of the ice-grass ecotone in the mountain region of the Xinjiang Tizinafu River Basin[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2015, 37(6): 1650 - 1659.]

[25] 张玉芳. 提孜那甫河流域卫星雪盖时空分布研究[D]. 南京: 南京大学, 2014. [ZHNANG Yufang, Spatial and temporal charac-

teristic of satellite snow cover in the Tizinafu Watershed[D]. NanJing: NanJing University,2014.]
[26] 陈蜀江,李琪,黄铁成,等. 提孜那甫河流域冬季牲畜宿营地环境特征遥感分析[J]. 草业科学,2016,33(1):153 - 163. [CHEN Shujiang,LI Qi,HUANG Tiecheng,et al. The analysis of environmental characteristics about the winter cattlecamp in the Tizinafu River using remote sensing technology[J]. Pratacultural Science,2016,33(1):153 - 163.]
[27] 段永超,孟凡浩,刘铁,等. 昆仑山提孜那甫河流域雨雪分离的温度条件分析[J]. 地球信息科学学报,2017,19(12):1661 - 1669. [DUAN Yongchao,MENG Fanhao,LIU Tie,et al. Analysis of temperature conditions for rain and snow separation in Tizinafu River Basin of Kunlun Mountains[J]. Journal of Geo-information Science,2017,19(12):1661 - 1669.]
[28] 颜伟,刘景时,罗光明,等. 基于 MODIS 数据的 2000—2013 年西昆仑山玉龙喀什河流域积雪面积变化[J]. 地理科学进展,2014,33(3):315 - 325. [YAN Wei,LIU Jingshi,LUO Guangming,et al. Snow cover area changes in the Yurungkax River Basin of West Kunlun Mountains during 2000—2013 using MODIS data[J]. Progress in Geography,2014,33(3):315 - 325.]
[29] 曾昭昭,王晓峰,任亮. 基于 GWR 模型的陕西秦巴山区 TRMM 降水数据降尺度研究[J]. 干旱区地理,2017,40(1):26 - 36. [ZENG Zhaozhao,WANG Xiaofeng,REN Liang. Spatial downscaling of TRMM rainfall data based on GWR model for Qinling-Daba Mountains in Shaanxi Province[J]. Arid Land Geography,2017,40(1):26 - 36.]
[30] 陈曦,胡汝骥,姜逢清,等. 中国干旱区自然地理[M]. 北京:科学出版社,2015. [CHEN Xi,HU Ruji,JIANG Fengqing,et al. Natural geography of arid areas of China[M]. Beijing: Science Press,2015.]

Spatiotemporal distribution of near-surface temperature over the Tizinafu River Basin in the Kunlun Mountains from 2012 to 2016

SUN Cong-jian[1,2], LI Wei[1], CHEN Wei[1], ZHANG Zi-yu[1], CHEN Ruo-xia[1]

(1 *School of Geographical Sciences*, *Shanxi Normal University*, *Lifen* 041000, *Shanxi*, *China*; 2 *State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology*, *Xinjiang institute of Ecology and Geography*, *Chinese Academy of Science*, *Urumqi* 830011, *Xinjiang*, *China*)

Abstract: Near-surface temperature is a key parameter for the hydrological modeling. It not only directly affects the process of melting snow/glacier and permafrost, but also controls the exchange of water and heat between the surface and the atmosphere. Base on the observed near-surface temperature data from the six self-established meteorological stations in the typical alpine basin – Tizinafu River Basin over the Kulun Mountains, Xinjiang, China from 2012 to 2016, we analyzed the spatial and temporal distribution characteristics of the near surface temperature in the study area. The results show as follows: (1) The data of the average temperature can be fitted very well by the sine function ($R^2 > 87\%$). As the altitude of the stations increases, the dispersion degree of the data is lowered, and the temporal variation got delayed, and the temperature fluctuated less. (2) The occuring months of the lowest daily-mean temperature and monthly-mean temperature are inconsistent, and the phenomenon appear more frequently at higher attitude. (3) There is a spatial difference about the temperature within a year. The situation of the spatial heterogeneity in temperature had 5 sub-regions: The maximum of difference degree in space is in D1 (Maza-Kudi) in autumn /winter and in D5 (Momoke-Jiangka) in spring; the minimum is in D3 (Kudidaban-Shihshu) in spring, summer and autumn. There is most significant difference in D4 (Shihshu/Kudidaban-Momoke) in summer and lowest difference in winter. (4) The results of correlation analysis show that the degree of spatial variability of temperature is highly correlated with the altitude. This study would be helpful to understand climatic characteristics on high and cold mountains of central Asia and optimize the water recycling modelling between solid state water and liquid water.

Key words: near-surface temperature; spatial and temporal distribution; climatic characteristics; water recycling modelling